

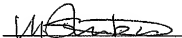
VERIFICATION OF TRANSLATION

Sir:

I, Masashi Shibata, whose business address is at 565 Pilgrim Drive, Suite D,  
Foster City, California 94404, declare:

- (1) that I know well both the Japanese and English languages;
- (2) that I translated the certified copy of Japanese Patent Application number JP2002-249674, filed on August 28, 2002, entitled "METHOD AND APPARATUS FOR PROCESSING SUBSTRATE AND OPENING PLATE USED THEREIN", from Japanese to English;
- (3) that the attached English translation is an accurate and correct translation of the certified copy of Japanese Patent Application number JP2002-249674 to the best of my knowledge and belief; and
- (4) that all statements made of my own knowledge are true and that all statements made on available information are believed to be true.

Signature:



Printed Name:

Masashi Shibata

Date:

10/20/08

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-249674

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-249674 ]

出 願 人

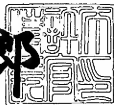
Applicant(s):

京セラ株式会社

2003年 5月20日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3036905

【書類名】	特許願
【整理番号】	27181
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	C23F 4/00
【発明者】	
【住所又は居所】	滋賀県八日市市蛇溝町長谷野 1 1 6 6 番地の 6 京セラ 株式会社滋賀八日市工場内
【氏名】	猪股 洋介
【特許出願人】	
【識別番号】	000006633
【住所又は居所】	京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町 6 番地
【氏名又は名称】	京セラ株式会社
【代表者】	西口 泰夫
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	005337
【納付金額】	21,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【ブルーフの要否】	要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 基板の加工方法、加工装置、およびそれに用いる開口プレート

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 加工される基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配設してドライエッチング法で粗面状にする基板の加工方法において、前記開口プレートの各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする基板の加工方法。

【請求項 2】 前記ドライエッチング法が反応性イオンエッチング法であることを特徴とする請求項 1 に記載の基板の加工方法。

【請求項 3】 加工される基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配設した基板の加工装置において、前記開口プレートの各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする基板の加工装置。

【請求項 4】 前記開口プレートを前記基板から  $5 \sim 30 \text{ mm}$  離して配設したことを特徴とする請求項 3 に記載の基板の加工装置。

【請求項 5】 前記開口プレートがアルミニウムまたはガラスから成ることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の基板の加工装置。

【請求項 6】 加工される基板の表面側に配設される開口部が多数形成された基板の加工装置用開口プレートにおいて、前記開口プレートの各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする基板の加工装置用開口プレート。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は基板の加工方法、加工装置、およびそれに用いる開口プレートに関し、特に太陽電池などに用いられるシリコン基板等を粗面状にできる基板の加工方

法、加工装置、およびそれに用いる開口プレートに関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】

太陽電池は入射した光エネルギーを電気エネルギーに変換するものである。太陽電池のうち主要なものは使用材料の種類により結晶系、アモルファス系、化合物系などに分類される。このうち、現在市場で流通しているのはほとんどが結晶系シリコン太陽電池である。この結晶系シリコン太陽電池はさらに単結晶型、多結晶型に分類される。単結晶型のシリコン太陽電池は基板の品質がよいために高効率化が容易であるという長所を有する反面、基板の製造が高コストになるという短所を有する。これに対して多結晶型のシリコン太陽電池は基板の品質が劣るために高効率化が難しいという短所はあるものの、低コストで製造できるという長所がある。また、最近では多結晶シリコン基板の品質の向上やセル化技術の進歩により、研究レベルでは18%程度の変換効率が達成されている。

【0003】

一方、量産レベルの多結晶シリコン太陽電池は低コストであったため、従来から市場に流通してきたが、近年環境問題が取りざたされる中でさらに需要が増しきており、低コストでより高い変換効率が求められるようになった。

【0004】

太陽電池では、電気エネルギーへの変換効率を向上させるために従来から様々な試みがなされてきた。そのひとつに基板に入射する光の反射を低減する技術があり、表面での光の反射を低減することで電気エネルギーへの変換効率を高めることができる。

【0005】

シリコン基板を用いて太陽電池素子を形成する場合、基板の表面を水酸化ナトリウムなどのアルカリ水溶液でエッチングすると、基板の表面に微細な凹凸が形成され、反射をある程度低減できる。面方位が(100)面の単結晶シリコン基板を用いた場合、このような方法でテクスチャ構造と呼ばれるピラミッド構造を基板の表面に均一に形成することができるものの、アルカリ水溶液によるエッチングは結晶の面方位に依存することから、多結晶シリコン基板で太陽電池素子を

形成する場合、ピラミッド構造を均一には形成できず、そのため全体の反射率も効果的には低減できないという問題がある。

## 【0006】

このような問題を解決するために、太陽電池素子を多結晶シリコンで形成する場合に、その表面に微細な凹凸を反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching) 法で形成することが提案されている (例えば特公昭60-27195号、特開平5-75152号、特開平9-102625号公報参照)。すなわち、多結晶シリコンにおける不規則な結晶の面方位に左右されずに微細な凹凸を均一に形成し、多結晶シリコンを用いた太陽電池素子においても反射率をより効果的に低減しようとするものである。

## 【0007】

しかしながら、上述のような凹凸の形成条件は微妙であり、また装置の構造によっても変化する。凹凸を均一に形成できない場合は、入射した光を太陽電池に有効に取り込むことができず、太陽電池の光電変換効率は向上しない。個々の太陽電池の価値はその発電効率で決まることから、そのコストを低減するには、太陽電池の変換効率を向上させなければならない。

## 【0008】

また、反応性イオンエッチング法に用いられる装置は一般に平行平板電極型をしており、基板を設置している電極の側にRF電圧を印加し、他の一方の側および内部の側壁をアースに接続する。このチャンバ内部を真空引きしてエッチングガスを導入して圧力を一定に保持しながら被エッチング基板をエッチングし、エッチングが完了した後にチャンバ内部を大気圧に戻す。

## 【0009】

このような手順を踏むことから、反応性イオンエッチング装置では真空引きおよび大気リークの待ち時間が長い。また、反応性イオンエッチング装置はLSIなどの精密な小型半導体素子に用いられる場合が多いが、太陽電池に用いる際には太陽電池自身の面積が大きいため、1回あたりの処理枚数が少なく、製造コストが高くなるという問題があった。そのため反応性イオンエッチング装置を太陽電池の製造工程に用いる場合には、いかに高タクトで1回あたりの処理枚数を増

やすかが重要なポイントである。

【0010】

タクトを向上させるための方法の一つとして、特願2001-298671号による方法がある。この方法ではシリコン基板の表面にエッチング残渣を付着させながらエッチングして粗面化した後、このエッチング残渣を除去する方法をとるが、このエッチングの際にマスクとなる残渣を速く形成するために、エッチングされる基板を多数の開口部が形成された開口プレートで覆蓋してエッチングする。この方法によれば凹凸の形成速度が速くなると同時に、パッチ内でのエッチングの均一性が向上し、1回あたりの処理枚数を増やすことができる。

【0011】

しかしながら、このような方法でエッチングしても開口プレートの開口パターンが適切でないと基板の表面に形成される凹凸にムラが生じるという問題が発生する。

【0012】

本発明はこのような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、半導体基板、特に太陽電池に用いられる基板の表面の凹凸を高タクトで均一に形成する基板の加工方法、加工装置、およびそれに用いる開口プレートを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項1に係る基板の加工方法では、加工される基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配設してドライエッチング法で粗面状にする基板の加工方法において、前記開口プレートの各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の $1/2$ 以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする。

【0014】

また、上記基板の加工方法では、前記ドライエッチング法は反応性イオンエッチング法であることが望ましい。

【0015】

請求項4に係る基板の加工装置では、加工される基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配設した基板の加工装置において、前記開口プレートと前記開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の $1/2$ 以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする。

【0016】

上記基板の加工装置では、前記開口プレートは前記基板から5～30mm離して設置することが望ましい。

【0017】

また、上記基板の加工装置では、前記開口プレートはアルミニウムまたはガラスから成ることが望ましい。

【0018】

請求項7に係る基板の加工装置用開口プレートでは、加工される基板の表面側に配設される開口部が多数形成された基板の加工装置用開口プレートにおいて、前記開口プレートの各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の $1/2$ 以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を添付図面に基づいて詳細に説明する。

【0020】

図1は本発明に係る基板の加工方法と加工装置によって形成される太陽電池素子の構造を示す図である。図1において、1はシリコン基板、2は凹凸、3は受光面側の不純物拡散層、4は裏面側の不純物拡散層(BSF)、5は反射防止膜、6は表面電極、7は裏面電極を示している。

【0021】

前記シリコン基板1は単結晶もしくは多結晶のシリコン基板である。この基板はp型、n型いずれでもよい。単結晶シリコンの場合は引き上げ法などによって



形成され、多結晶シリコンの場合は鋳造法などによって形成される。多結晶シリコンは、大量生産が可能で製造コスト面で単結晶シリコンよりもきわめて有利である。引き上げ法や鋳造法によって形成されたインゴットを $300\mu\text{m}$ 程度の厚みにスライスして、 $15\text{cm}\times 15\text{cm}$ 程度の大きさに切断してシリコン基板となる。

#### 【0022】

シリコン基板1の表面側には、入射する光を反射させずに有効に取り込むために凹凸2を形成する。これは真空引きされたチャンバ内にガスを導入して一定圧力に保持してチャンバ内に設けられた電極にRF電力を印加することでプラズマを発生させ、生じた活性種であるイオン・ラジカル等の作用により基板の表面をエッチングするものである。反応性イオンエッチング(RIE)法と呼ばれるこの方法は図2および図3のように示される。

#### 【0023】

図2および図3において、1はシリコン基板、8はマスフローコントローラ、9はRF電極、10は圧力調整器、11は真空ポンプ、12はRF電源である。装置内にマスフローコントローラ8部分からエッチングガスを導入するとともに、RF電極9からRF電力を供給することでプラズマを発生させてイオンやラジカルを励起活性化して、RF電極9の上部に設置したシリコン基板1の表面に作用させてエッチングする。図2に示す装置では、RF電極9を装置内に設置して1枚のシリコン基板1の表面をエッチングするが、図3に示す装置では、RF電極9を装置の外壁に設置して複数枚のシリコン基板1の表面を同時にエッチングするようにしている。

#### 【0024】

発生した活性種のうち、イオンがエッチングに作用する効果を大きくした方法を一般に反応性イオンエッチング法と呼んでいる。類似する方法にプラズマエッチングなどがあるが、プラズマの発生原理は基本的に同じであり、基板に作用する活性種の種類の分布をチャンバ構造、電極構造、あるいは発生周波数等により異なる分布に変化させているだけである。そのため、本発明は反応性イオンエッチング法に限らず、プラズマエッチング法全般に対して有効である。

## 【0025】

シリコンはエッチングすると基本的には気化するが、一部は気化しきれずに分子同士が吸着して基板の表面に残渣として残る。つまり、シリコン基板1の表面を反応性イオンエッチング法および類似のドライエッチング法で粗面化する際に、エッチングされたシリコンを主成分とするエッチング残渣をシリコン基板1の表面に再付着させる速度を促進させ、これをエッチングのマイクロマスクとして利用することでシリコン基板1の表面に凹凸を形成するものである。なお、このエッチング残渣は最終的には除去される。

## 【0026】

また、ガス条件、反応圧力、RFパワーなどをシリコンのエッチング残渣がシリコン基板1の表面に残るような条件に設定すると、凹凸を確実に形成することができる。ただし、その凹凸のアスペクト比は最適化する必要がある。逆に、シリコン基板1の表面にエッチング残渣が残らないような条件では凹凸を形成することは困難である。

## 【0027】

本発明では、シリコン基板1を多数の開口部14が形成された開口プレート13で覆蓋してエッチングする。このような開口プレート13を用いることによって、エッチング残渣の生成を促進させ、これに伴って凹凸の形成を促進させる。

## 【0028】

図4に開口プレート13の一例を示す。この開口プレート13は、加工のし易さという面では金属、特にアルミニウムが好ましいが、ステンレスなどはシリコンをエッチングするガスに曝されると腐食するために不適である。一方、エッチング中はプラズマに曝されるために発熱する。この温度は条件によって大幅に変わるが、プラズマに曝されると温度が上昇し、エッチングが終了すればシリコン基板1を大気中で取り出すため、温度の上下動に耐えうる材質のものであることが好ましい。そのため、プラズマに曝される場合にはガラス材などが望ましい。このように条件によって好ましい材質を選択する。

## 【0029】

図5に開口プレート13とシリコン基板1の設置方法の一例を示す。開口プレ

ート13とシリコン基板1とは、5～30mmの間隔に保持してエッチングすることが望ましい。このようにすることで、エッチングの際に生成して揮発するシリコン化合物からなる残渣をシリコン基板1と開口プレート13の間に閉じ込める効果が生じ、残渣が基板1上に生成しやすくなり、残渣の形成を促進できると同時に、凹凸の形成を促進できる。この開口プレート13とシリコン基板1の間隔が5mm以下では開口プレート13の開口部14が凹凸を形成する際にシリコン基板1の表面に模様として転写されてムラとなる。また、30mm以上では残渣を速く形成して凹凸の形成を促進する効果が弱くなる。

#### 【0030】

開口プレート13とシリコン基板1とを所定間隔に保持するための方法は、特に限定されない。例えば図4のように開口プレート13の裏面側の周縁部に側壁17を設けるのが簡単である。エッチングされるシリコン基板1の枚数が多く、開口プレート13が大面積になる場合には、開口プレート13の中央部が自重によって垂れ、シリコン基板1と開口プレート13との距離が狭まって開口部14の跡がシリコン基板1に転写されてムラとなる可能性がある。このような場合には開口プレート13の厚みを増したり、側壁17の高さを高くするなどの対策が有効である。また、開口プレート13の中央の厚みを薄くするという方法も有効である。開口プレート13の厚みは、強度、材料コスト、およびエッチング条件などの関係により設定することができる。

#### 【0031】

また、開口プレート13を平面視したときの全面積に対する開口部の比率である開口率は5～40%にするのが望ましい。開口率が5%より小さいとシリコン基板1のエッチングに必要なガスの供給が不十分となり、逆に残渣の形成速度が遅くなるために凹凸の形成が遅くなる。また、開口率が40%より大きいとシリコン化合物が揮発する際に開口プレート13とシリコン基板1との間に閉じ込める効果が弱くなり、残渣の形成の促進効果が弱くなる。

#### 【0032】

この開口部14のパターンは特に制限はないが、パターンが複雑になることを避けるために、ドット形状やスリット形状などの繰り返しパターンに形成するこ

とが望ましい。しかしながら、上記のように開口プレート 1 3 と基板 1 とを設置しても、基板 1 と開口プレート 1 3 との距離と開口形状との関係が適切でないと基板 1 の表面の凹凸 2 の形成にムラが発生することが確認された。例えば開口率が全体として 5 ~ 4 0 % であっても、ある特定の領域の面積あたりの開口率が 7 0 % であるとその下部に形成される凹凸 2 は他の部分で形成される凹凸 2 に比してムラとなってしまう。

## 【 0 0 3 3 】

また、この開口部 1 4 によるムラはプレート 1 3 とシリコン基板 1 との間の距離と密接な関係があり、開口プレート 1 3 とシリコン基板 1 の間の距離が小さいほどムラは発生しやすくなる。

## 【 0 0 3 4 】

また、開口部 1 4 の大きさに関しては、全体の開口率が同じであった場合でも、個々の開口部 1 4 が大きい場合には小さい場合に対してムラが発生しやすくなることがわかった。

## 【 0 0 3 5 】

そこでこれらの関係について詳細に調べた結果、開口プレート 1 3 の各開口部 1 4 の形状パターンがある一定のまとまった開口を有するとムラが発生しやすくなることがわかった。この領域の大きさは開口プレート 1 3 と加工される基板表面との距離によって決まり、この開口プレート 1 3 と加工される基板 1 表面との距離の  $1/2$  よりも大きい直径の仮想的な円柱 1 8 が通過する形状であるとムラが発生しやすくなることがわかった。

## 【 0 0 3 6 】

そこで本発明では、加工される基板 1 の表面側に開口部 1 4 が多数形成された開口プレート 1 3 を配設してドライエッチング法で粗面上にする基板の加工方法において、開口プレート 1 3 の各開口部 1 4 が前記開口プレート 1 3 と加工される基板 1 の表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることを特徴とする。

## 【 0 0 3 7 】

図 6 にこの概念図を示す。図 6 において、1 8 は仮想円柱を示す。このように

開口部 1 4 を通過できる最大の仮想円柱 1 8 の直径 R を開口プレート 1 3 とシリコン基板 1 間の距離 H の  $1/2$  以下となるように開口部 1 4 を形成することによってムラのない凹凸 2 を形成できる。

## 【 0 0 3 8 】

開口プレート 1 3 の開口部 1 4 のパターン形状は特に問わない。例えば図 4 に示すようなスリット形状などのパターン形状にすることもできるし、ドット状の千鳥パターン形状にすることもできる。ただし、開口していない大きい領域があると、凹凸 2 のパターンにムラが発生する。

## 【 0 0 3 9 】

ここではバルク型シリコン太陽電池を例にとって説明したが、本発明はバルク型、シリコン、太陽電池のいずれにも限定されるものではない。

## 【 0 0 4 0 】

## 【発明の効果】

以上のように、請求項 1 に係る基板の加工方法によれば、開口プレートと加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような開口部の形状を有する開口プレートを用いることにより、ムラのない均一な凹凸を形成できる。

## 【 0 0 4 1 】

また、請求項 4 に係る基板の加工装置によれば、開口プレートと前記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような開口部の形状を有する開口プレートを設けた装置とすることにより、ムラのない均一な凹凸を形成することが可能となる。

## 【 0 0 4 2 】

また、請求項 7 に係る基板の加工装置用開口プレートによれば、各開口部がこの開口プレートと前記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状であることから、ムラのない均一な凹凸を形成することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る基板の加工方法を用いて作成した太陽電池素子を示す図である。

【図 2】

本発明に係る基板の加工装置の一例を示す図である。

【図 3】

本発明に係る基板の加工装置の他の例を示す図である。

【図 4】

本発明に係る基板の加工方法に用いる開口プレートの一例を示す図である。

【図 5】

本発明に係る基板の加工方法に用いる開口プレートの一例を示す断面図である。

【図 6】

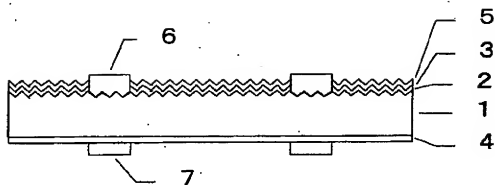
本発明に係る基板の加工方法に用いる開口プレートの開口部の大きさを説明するための図である。

【符号の説明】

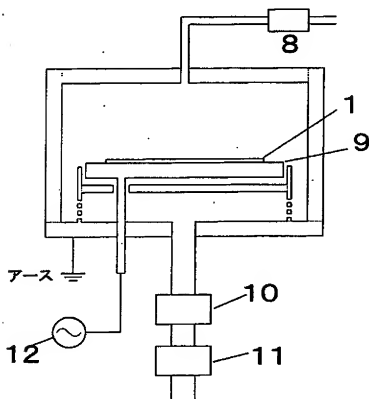
1 ; 基板、2 ; 凹凸、8 ; マスフローコントローラ、9 ; RF電極、10 ; 圧力調整器、11 ; 真空ポンプ、12 ; RF電源、13 ; 開口プレート、14 ; 開口部、17 ; 側壁、18 ; 仮想円柱

【書類名】 図面

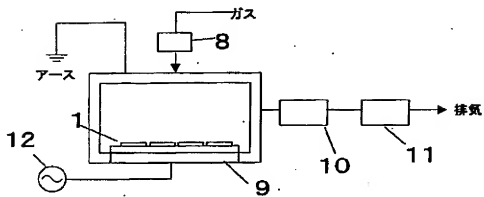
【图 1】



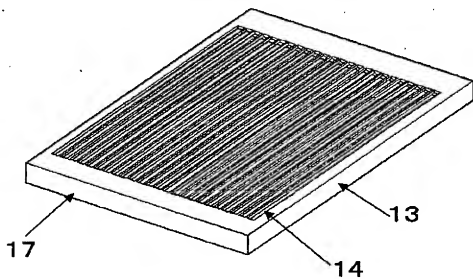
【圖 2】



【図3】

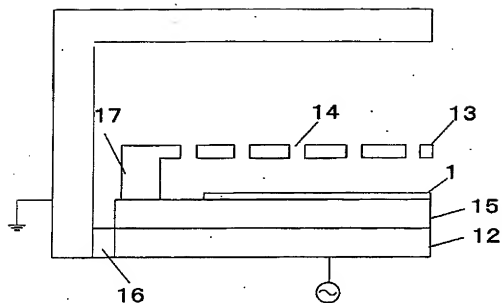


【図4】

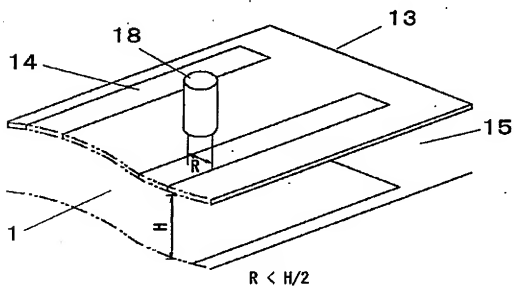




【図5】



【図6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 太陽電池に用いる基板などの表面の凹凸を効率よく均一に形成する方法を提供する。

【解決手段】 加工される基板 1 の表面側に開口部 14 が多数形成された開口プレート 13 を配設してドライエッチング法で粗面状にする基板の加工方法であって、上記開口プレートの各開口部をこの開口プレートと上記加工される基板表面との距離の  $1/2$  以下の直径の仮想円柱は通過できるがそれよりも大きい直径の仮想円柱は通過できないような形状とした。

【選択図】 図 6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-249674	
受付番号	50201281766	
書類名	特許願	
担当官	第五担当上席	0094
作成日	平成14年 8月29日	

<認定情報・付加情報>

【提出日】

平成14年 8月28日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000006633]

1. 変更年月日

1998年 8月21日

[変更理由]

住所変更

住 所

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地

氏 名

京セラ株式会社

[Name of Document] SPECIFICATION

[Title of the Invention] METHOD AND APPARATUS FOR PROCESSING  
SUBSTRATE AND OPENING PLATE USED THEREIN

[Scope of Claim for a Patent]

[Claim 1]

A method for processing a substrate to roughen the substrate through a dry etching method with an opening plate, which is provided with a number of opening portions, placed on the surface side of the substrate to be processed, characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of no more than  $1/2$  as large as a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[Claim 2]

The method for processing a substrate according to claim 1, characterized in that the dry etching method is a reactive ion etching method.

[Claim 3]

An apparatus for processing a substrate provided with an opening plate, which has a plurality of opening portions, on the surface side of a substrate to be processed, characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of no more than  $1/2$  as large as a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[Claim 4]

The apparatus for processing a substrate according to claim 3, characterized in that the opening plate is placed to be spaced apart from the substrate by 5 to 30 mm.

[Claim 5]

The apparatus for processing a substrate according to claim 3 or 4, characterized in that the opening plate is made of one of aluminum and glass.

[Claim 6]

An opening plate used in an apparatus for processing a substrate having a plurality of opening portions, placed on the surface side of a substrate to be processed, characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of no more than  $1/2$  as large as a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field Pertinent to the Invention]

The present invention relates to a method and an apparatus for processing a substrate and an opening plate used therein, and more particularly to a method and an apparatus for processing a substrate capable of roughening a surface of a silicon substrate used in a solar cell or the like, and an opening plate used therein.

[0002]

[Prior Art and Problems that the Invention is to Solve]

A solar cell is an element that converts incident light

energy into electrical energy. Main solar cells are classified into crystal-based, amorphous-based, and compound-based solar cells depending on materials used. Among others, crystalline silicon solar cells account for a large percentage of the solar cells currently available on the market. The crystalline silicon solar cells are further classified into single-crystalline type or multi-crystalline type. A silicon solar cell of a single-crystalline type has an advantage that efficiency can be readily improved due to the substance of high quality, but has a drawback that the manufacturing cost of the substrate is high. On the contrary, a multi-crystalline type silicon solar cell has a drawback that efficiency cannot be readily improved due to the substrate of inferior quality, but has an advantage that the manufacturing cost is low. In addition, in recent years, improvement in quality of the multi-crystalline silicon substrate and advancement in the cell fabrication technique has made it possible to achieve conversion efficiency of approximately 18% in the research level.

[0003] On the other hand, while multi-crystalline type solar cells in mass-production level have been available on the market because they can be manufactured at a low cost, the demand is now on the increase due to growing concern about environmental issues in recent years, and there is a need to achieve higher conversion efficiency at a low cost.

[0004] Many attempts have been made on solar cells to improve conversion efficiency to electrical energy. One of such attempts relates to a technique of reducing reflection of light incident on the substrate and conversion efficiency to electrical energy can be improved by reducing reflection of

light.

[0005] In a case where a solar cell is fabricated from a silicon substrate, reflection can be reduced to some extent by etching the surface of the substrate with alkaline aqueous solution, such as sodium hydroxide, to form fine unevenness on the surface of the substrate. In a case where a single-crystalline silicon substrate having a (100)-plane orientation, a pyramid structure called a texture structure can be formed on the surface of the substrate by the method described above. Etching with the use of alkaline aqueous solution, however, depends on the plane orientation of crystals, and for this reason, in a case where a solar cell is fabricated from a multi-crystalline silicon substrate, a pyramid structure cannot be formed homogeneously, which raises a problem that overall reflectance cannot be reduced effectively.

[0006] In order to eliminate such a problem, there has been proposed an idea of forming fine unevenness on a surface through the reactive ion etching method when a solar cell element is fabricated from multi-crystalline silicon (see Japanese Patent Publication No. 60-27195 and Japanese Patent Application Laid-Open Nos. 5-75152 and 9-102625). In other word, this idea is to reduce reflectance of a solar cell element using multi-crystalline silicon more effectively by forming fine unevenness homogeneously regardless of anomalous plane orientations of the multi-crystalline silicon.

[0007] However, conditions for forming unevenness as described above are delicate and change with the structure of an apparatus. Where fine unevenness cannot be homogeneously formed, incident light cannot be effectively taken in and therefore the photoelectric conversion efficiency of a solar



cell is not improved. Accordingly, the conversion efficiency of the solar cells must be improved to reduce the cost since the value of individual solar cell is determined by the power generation efficiency thereof.

[0008] An apparatus used in the reactive ion etching method is generally of a parallel plate electrode type, wherein an RF voltage is applied to the side of electrode on which a substrate is placed and the electrode on the other side and an inner sidewall are connected to the ground. The interior of the chamber is vacuumed and, while the pressure is maintained constant by introducing etching gas, a substrate to be etched is etched, and a pressure in the interior of the chamber is restored to atmospheric pressure after the etching is completed.

[0009] Because of the procedure described above, waiting times for evacuation and leaking to atmospheric pressure are long in a reactive ion etching apparatus. In many cases, the reactive ion etching apparatus is used for precise small-sized semiconductor devices, however, the solar cell itself is large and only a small number of substrates can be processed at a time. Therefore, there is a problem that the manufacturing cost is increase. Accordingly, in using the reactive ion etching apparatus in a solar cell manufacturing process, an important point is how the number of substrates to be processed at a time is increased at high tact.

[0010] As one of methods for improving tact, there is a method disclosed in Japanese Patent Application No. 2001-268671. In the method, a method, in which etching and roughening are performed while etching residue is being deposited onto the silicon substrate and subsequently, the etching residue is

removed, is used. During the etching, to promptly form residue serving as a mask during etching, the substrate to be etched is covered with an opening plate provided with a number of opening portions before etching. The forming speed of unevenness is improved and etching homogeneity within a batch is improved, thus increasing number of substrates to be processed at a time.

[0011] However, even if etching is performed in this way, an unsuitable opening pattern of an opening plate causes a problem that irregularity occurs in the unevenness formed on a surface of a substrate.

[0012] In view of the foregoing problem of the conventional technique, it is an object of the present invention to provide a method and an apparatus for processing a semiconductor substrate that make it possible to form unevenness homogeneously on the surface of a semiconductor substrate, in particular, a substrate used in a solar cell or the like, at high rate, and an opening plate used therein.

[0013]

[Means for Solving the Problems]

In order to attain the above-mentioned object, a method for processing a substrate according to claim 1 of the present invention is a method for processing a substrate to roughen the substrate through a dry etching method with an opening plate, which is provided with a number of opening portions, placed on the surface side of the substrate to be processed, and characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to

be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0014] In the method for processing a substrate, preferably, the dry etching method is a reactive ion etching method.

[0015] An apparatus for processing a substrate according to claim 4 of the present invention, is an apparatus for processing a substrate provided with an opening plate, which has a plurality of opening portions, on the surface side of a substrate to be processed, and characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0016] In the apparatus for processing a substrate, preferably, the opening plate is placed to be spaced apart from the substrate by 5 to 30 mm from the substrate.

[0017] Further, in the apparatus for processing a substrate, preferably, the opening plate is made of one of aluminum and glass.

[0018] An apparatus for processing a substrate according to claim 7 of the present invention is an opening plate used in an apparatus for processing a substrate having a plurality of opening portions, placed on the surface side of a substrate to be processed, and characterized in that each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a

virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0019]

[Mode for Carrying out the Invention]

The present invention will be specifically described with reference to the accompanying drawings.

[0020] FIG. 1 is a view showing a structure of a solar cell element formed using a method and an apparatus for processing a substrate of the present invention. In FIG. 1, numeral 1 denotes a silicon substrate, numeral 2 denotes unevenness, numeral 3 denotes an impurity diffusion layer on light-receiving surface side, numeral 4 denotes an impurity diffusion layer on the back side surface (BSF), numeral 5 denotes an anti-reflection film, numeral 6 denotes a surface electrode and numeral 7 denotes a back surface electrode.

[0021] The silicon substrate 1 is a single-crystalline or multi-crystalline silicon substrate. The substrate may be either of p-type or n-type. The silicon substrate 1 is fabricated through the Czochralski method or the like in the case of single-crystalline silicon, and through casting method or the like in the case of the multi-crystalline silicon. Multi-crystalline silicon is quite advantageous over the single-crystalline silicon in terms of the manufacturing costs because it can be mass-produced. An ingot made through the Czochralski method or the casting method is sliced into a thickness of approximately 300  $\mu\text{m}$  and cut into a silicon substrate of a size of approximately 15 cm x 15 cm.

[0022] On the surface side of the silicon substrate 1, there is formed unevenness 2 to effectively take in the input light without reflecting it. This is performed as follows. That is, a gas is introduced into an evacuated chamber to maintain a

constant pressure and plasma is generated by applying RF voltage to the electrode provided inside the chamber. The surface of the substrate is then etched by the action of resulting activated seeds, such as ions and radicals. This method referred to as the reactive ion etching (RIE) method is illustrated in FIGS. 2 and 3.

[0023] In FIGS. 2 and 3, numeral 1 denotes a silicon substrate, numeral 8 denotes a massflow controller, numeral 9 denotes an RF electrode, numeral 10 denotes a pressure regulator, numeral 11 denotes a vacuum pump and numeral 12 denotes an RF power supply. Etching gas is introduced from a massflow controller 8 into the apparatus and RF electric power is supplied from an RF electrode 9 to generate plasma, by which ion or radical is excited and activated and the surface of the silicon substrate on the top of the RF electrode 9 is etched by the action of the ions and radicals. In the apparatus shown in FIG. 2, surface of a single silicon substrate 1 is etched by providing the RF electrode 9 inside the apparatus. On the other hand, in the apparatus shown in FIG. 3, the surface of a plurality of silicon substrates 1 are etched concurrently by providing the RF electrode 9 on the outside wall of the apparatus.

[0024] A method in which, of all the generated active species, the effect of etching by the action of ions is enhanced is generally referred to as the reactive ion etching method. Similar methods include the plasma etching. The generation principle of plasma is basically the same, where the distribution of kinds of active species acting upon a substrate are only changed into different distributions depending upon a chamber structure, electrode structure or generated frequency. Accordingly, the present invention is effective in the general

plasma etching method and not limited to the reactive ion etching method.

[0025] Basically, silicon evaporates when it is etched, part of which, however, does not evaporate completely and molecules bond to one another, thereby being left as residues on the surface of the substrate. In other words, when the surface of the silicon substrate 1 is roughened through the reactive ion etching method and a similar dry etching method, a speed at which etching residues, chiefly composed of etched silicon, re-attach to the surface of the silicon substrate 1 is accelerated, so that the unevenness is formed on the surface of the silicon substrate 1 by using the residues as a micro-mask for etching. It should be noted that the etching residues are removed in the end.

[0026] The unevenness 2 can be formed in reliable manner by setting a gas condition, reaction pressure, RF power, etc. to comply with the conditions such that the etching residues of silicon is left on the surface of the silicon substrate 1. It should be noted, however, that an aspect ratio of the unevenness need to be optimized. Conversely, it is difficult to form unevenness under condition that the etching residues are not left on the surface of the substrate 1.

[0027] According to the invention, the silicon substrate 1 is subjected to etching while being covered with the opening plate 13 provided with a number of opening portions 14. Generation of the etching residues is promoted with the use of such a plate 13, which in turn promotes the formation of the unevenness.

[0028] FIG. 4 shows an example of the opening plate 13. When the readiness in processing is concerned, metal, particularly

aluminum is preferable as a metal of the opening plate 13, however stainless metal or the like is not suitable because it corrodes when exposed to a gas used to etch silicon. On the other hand, it generates heat because it is exposed to plasma during etching. Because its temperature rises when it is exposed to plasma, although the temperature varies greatly with conditions and, then the silicon substrate 1 is removed to stand in atmosphere when etching ends, a material that can withstand a temperature change is preferred. It is therefore preferable to use a glass material when the opening plate 13 is exposed to plasma. A preferable material is selected depending on a specific condition as described above.

[0029] FIG. 5 shows an example of a manner of arranging the opening plate 13 and the silicon substrate 1. It is preferable to perform etching while the opening plate 13 and the silicon substrate 1 are held to be spaced apart by an interval of 5 to 30 mm. When arranged in this manner, there occurs an effect of trapping residues, which are generated during etching and composed of evaporating silicon compounds, between the silicon substrate 1 and the opening plate 13, which makes it easier for residues to be generated on the substrate 1. Hence, the generation of residues can be promoted, and at the same time, the formation of the unevenness can be promoted. When the distance between the opening plate 13 and the silicon substrate 1 is 5 mm or less, the opening portions 14 in the opening plate 13 are transferred as a pattern on the surface of the silicon substrate 1 when the unevenness is formed, which results in irregularity. Conversely, when the distance is 30 mm or more, the effect of generating the residues faster to promote formation of the unevenness is reduced.

[0030] A method of holding the opening plate 13 and the silicon substrate 1 to be spaced apart by a predetermined distance is not particularly limited. As shown in FIG. 4, for example, it is simple to provide a sidewall 17 along the peripheral edge portion on the back surface side of the opening plate 13. In a case where a number of the silicon substrates 1 are to be etched and the opening plate 13 has a large area, the opening plate 13 may fall down at the center due to self-weight, and a distance between the silicon substrate 1 and the opening plate 13 may be shortened. Then, traces of the opening portions 14 may possibly be transferred onto the silicon substrate 1 resulting in irregularity. In such a case, countermeasures such as to increase a thickness of the opening plate 13 or to increase the height of the sidewall 17 are effective. A method of reducing the thickness of the opening plate 13 at the center is also effective. The thickness of the opening plate 13 can be set according to a relation between strength, material cost, etching conditions, etc.

[0031] It is also preferable that a ratio of the opening portions with respect to the entire area of the plate 13 as viewed in a plane (hereinafter, referred to as the open area ratio) is set to approximately 5 to 40%. When the open area ratio is 5% or less, gas needed to etch the silicon substrate 1 is not supplied sufficiently, and a residue forming rate is reduced, which in turn slows down the formation of the unevenness. Conversely, when the open area ratio is 40% or greater, the effect of trapping evaporating silicon compounds between the plate 13 and the silicon substrate 1 is reduced, and so is the effect of promoting the formation of the residues.

[0032] The pattern of the opening portion 14 is not



particularly limited, however, to avoid pattern complexity, it is preferable to form the pattern into a dot shape or slit shape. However, it has been found that an inappropriate relation of the distance between the substrate 1 and the opening plate 13 and the shape of the opening portions causes irregularity in forming unevenness 2 on a surface of the substrate 1 even if the opening plate 13 and the substrate 1 are arranged in the above way. For example, even if the open area ratio is 5 to 40% as a whole, when an open area ratio of an area of a specific region is 70%, the unevenness 2 formed below the region has more irregularity than the unevenness 2 formed in a remaining region.

[0033] The irregularity due to the opening portion 14 has a close relation to a distance between the opening plate 13 and the silicon substrate 1 and the smaller the distance between the opening plate 13 and the silicon substrate 1 is, the more readily irregularity occurs.

[0034] Regarding to the size of the opening portion 14, it has been found that irregularity occurs more readily when individual opening portions 14 are larger comparing to a case when it is small, even if the open area ratio as a whole is the same.

[0035] From the detailed investigation result of such relations, it was found that irregularity readily occurs when a shape pattern of each of the opening portions 14 of the opening plate 13 has a specific big opening area. The size of this area is determined depending on a distance between the opening plate 13 and a substrate to be processed. It has been found that such a shape that a virtual cylindrical column 18, which has a diameter more than  $1/2$  of a distance between the opening plate 13 and a substrate 1 to be processed, can pass through readily

causes irregularity.

[0036] Therefore, in the present invention, a method of processing substrate, in which the substrate is roughened through dry etching method with the opening plate 13 provided with a plurality of opening portions 14 placed on the surface side of a substrate 1, is characterized in that each of the opening portions 14 in the opening plate 13 has such a size as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of no more than  $1/2$  as large as a distance between the opening plate 13 and the surface of the substrate 1 to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0037] FIG. 6 shows a conceptual view of a substrate processing method. In FIG. 6, numeral 18 denotes a virtual cylindrical column. The unevenness 2 without irregularity can be formed by forming the opening portions 14 in such a manner that a diameter  $R$  of the largest virtual cylindrical column 18 capable of passing through the opening portion 14 is no more than  $1/2$  as large as a distance  $H$  between the opening plate 13 and the silicon substrate 1.

[0038] The pattern shape of the opening portion 14 in the opening plate 13 is not limited particularly. The slit pattern as shown in FIG. 4 may be used, for example. Alternatively, dot-shaped opening portions may be aligned in zigzag pattern. It should be noted, however, that the widespread presence of non-opening regions causes irregularity to occur in a pattern of unevenness 2.

[0039] While the invention has been described by using a bulk silicon solar cell as an example, the invention is not limited to either of, bulk, silicon or solar cell.

[0040]

[Effect of the Invention]

As described above, with a method for processing substrate according to claim 1 of the present invention, homogeneous unevenness can be formed without irregularity by using an opening plate having an opening portion shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of no more than  $1/2$  as large as a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0041] With an apparatus for processing substrate according to claim 4 of the present invention, homogenous unevenness can be formed without irregularity by configuring the apparatus provided with an opening plate having an opening portion shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while not as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[0042] With an opening plate used in a apparatus for processing substrate according to claim 7 of the present invention, homogenous unevenness can be formed without irregularity by forming each of the opening portions thereof in a shape so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG.1] FIG. 1 is a view showing a solar cell element formed using a method for processing a substrate according to the present invention;

[FIG.2] FIG. 2 is a view showing an example of an apparatus for processing a substrate according to the present invention;

[FIG.3] FIG. 3 is a view showing another example of an apparatus for processing a substrate according to the present invention;

[FIG.4] FIG. 4 is a view showing an example of an opening plate used in a method for processing a substrate according to the present invention;

[FIG.5] FIG. 5 is a sectional view showing an example of an opening plate used in a method for processing a substrate according to the present invention; and

[FIG.6] FIG. 6 is a view for illustrating a size of an opening portion of an opening plate used in a method for processing a substrate according to the present invention.

[Description of Reference Numerals]

- 1 SUBSTRATE
- 2 UNEVENNESS
- 3 MASSFLOW CONTROLLER
- 9 RF ELECTRODE
- 10 PRESSURE REGULATOR
- 11 VACUUM PUMP
- 12 RF POWER SUPPLY
- 13 OPENING PLATE
- 14 OPENING PORTION
- 17 SIDEWALL
- 18 VIRTUAL CYLINDRICAL COLUMN

[Name of Document] ABSTRACT

[Summary]

[Problem] To provide a method for efficiently and homogeneously forming unevenness on a surface of a substrate used for a solar cell or the like.

[Solving Means] In a method for processing a substrate to roughen the substrate through a dry etching method with an opening plate 13, which is provided with a number of opening portions 14, placed on the surface side of the substrate 1 to be processed, each of the opening portions in the opening plate is shaped so as to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter of  $1/2$  or less of a distance between the opening plate and the surface of the substrate to be processed, while as not to allow passage of a virtual cylindrical column having a diameter larger than that.

[Selected Diagram] FIG. 6